

협력통신용 신규 도움노드 선정기법 설계 및 성능평가

장재신*

Performance Evaluation of a New Helper Node Selection Scheme for Cooperative Communications

Jaeshin Jang*

Department of Information and Communications Engineering, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

요 약

본 논문에서는 무선통신에서의 시스템 성능을 향상시키기 위해 협력통신에서 매우 중요한 도움노드를 선정하는 방법에 대하여 연구를 수행하였다. 본 논문에서 제안한 BT-COMAC (busy tone cooperative MAC) 프로토콜은 사후(reactive) 도움노드 선정기법을 채용하였으며, 기존 기법의 장점을 극대화하면서 단점을 보완한 새로운 협력통신용 MAC 프로토콜이다. 컴퓨터 모의실험을 통해 성능평가를 수행하였으며, 시스템 처리량과 채널 액세스 지연시간을 성능평가 척도로 사용하였다. 모든 통신노드들이 통신영역 내에서 독자적으로 움직이는 이동성 모델을 사용하였으며, 슬로우 페이딩 채널 환경에서 수신 전력을 기반으로 전송속도를 결정하는 방법을 사용하였다. 성능평가 결과 본 논문에서 제안한 기법이 기존 방식에 비해 시스템 처리량 측면에서 최대 15% 정도 성능개선을 달성한 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we carried out a study on how to find an appropriate helper node for cooperative communications, the role of which is very important to enhance system throughput of wireless communication system. The busy tone cooperative MAC (BT-COMAC) protocol proposed in this paper is a new cooperative MAC protocol with a reactive helper node scheme and maximizes the benefits of existing schemes while making up for their shortcomings. We conducted performance evaluation of this new protocol using computer simulation experiment. System throughput in bps and channel access delay are utilized as performance measures. We used a random way point mobility model where every communication node moves independently one another, and slow fading channel where every communication node decided its transmission rate with received power basis. Numerical results show that the new MAC protocol enhances system throughput as much as 15% of the existing scheme.

키워드 : BT-COMAC, 협력통신, 도움노드 선정, 무선 LAN

Key word : BT-COMAC, cooperative communication, helper node selection, wireless LAN

접수일자 : 2013. 04. 15 심사완료일자 : 2013. 06. 06 게재확정일자 : 2013. 06. 25

* **Corresponding Author** Jaeshin Jang(E-mail:icjoseph@inje.ac.kr, Tel:+82-55-320-3520)

Department of Information and Communications Engineering, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.8.1811>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

무선통신의 목표는 전송속도를 증대시키면서 단대단 통신의 신뢰도를 높이는 것이다. 하지만 무선채널 환경에서 빈번하게 발생하는 다중경로 전송에 의해 발생하는 페이딩 현상은 무선통신 및 이동통신 환경에 악영향을 미친다. 무선통신에서 채널 페이딩을 극복하기 위해 공간 다이버시티 개념을 이용하는 MIMO (multiple input multiple output) 안테나 기법이 도입되었다. 그러나 이동통신 단말기나 무선 LAN 단말기와 같이 규모가 매우 작은 단말기에 다수 개의 안테나를 설치하는 것은 매우 힘들다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 등장한 개념이 협력통신이다[1]. 이것은 한 개의 안테나를 채용한 다수 개의 통신노드들을 사용하여 공간 다이버시티 개념을 구현한 것으로 그림 1에 협력통신을 이용하는 예를 간단하게 나타내었다.

먼저 송신노드와 수신노드가 서로 멀리 떨어져 있거나 두 통신노드 사이의 채널특성이 나빠서 1 Mbps로만 송수신이 가능하다고 하자. 이때 두 노드의 사이에 위치한 임의의 통신노드 중 송신노드, 그리고 해당노드와 수신노드 간의 채널 전송속도가 매우 양호한 각각 11 Mbps 송수신할 수 있는 이러한 환경에서는 2-홉(hop) 통신을 수행하지만 송신노드와 수신노드 사이의 실효 전송속도는 $(1/11 + 1/11)^{-1} = 5.5$ Mbps 이므로 송신노드와 수신노드가 직접 통신하는 1 Mbps보다 전송속도가 개선됨을 알 수 있다.

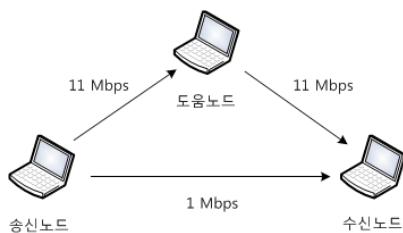


그림 1. 협력통신의 예
Fig. 1 Example of cooperative communication

본 논문에서는 협력통신에서 매우 중요한 도움(helper)노드를 선정하는 방법을 포함한 새로운 협력통신용 MAC 프로토콜을 제안하고 성능평가를 통해 기존 협력통신용 MAC 프로토콜 기법과 성능비교 결과를 제시하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 도

움노드 선정기법을 포함하고 있는 기존 협력통신 MAC 프로토콜의 연구동향을 기술하고 III장에서는 본 논문에서 제안한 새로운 협력통신용 MAC 프로토콜의 동작을 설명한 뒤, IV장에서 컴퓨터 모의실험을 통한 성능평가 결과를 제시한 뒤 V장에서 끝맺는다.

II. 관련 연구동향

지금까지 연구된 협력통신용 MAC 프로토콜에 대한 연구는 대부분 IEEE 802.11 무선 LAN 표준에 기반을 두고 수행되었다[2]. 협력통신기법에서는 핵심적인 역할을 담당하고 있는 도움노드를 어떻게 선정하는 것이 매우 중요한 사항이다. 송신노드가 협력통신에 사용할 도움노드를 결정하는 시점에 따라 사전 선정기법과 사후 선정기법으로 분류한다. 즉, 송신노드에서 전송할 데이터 패킷이 발생하였을 때 시점을 기준으로 도움노드가 이미 선정되어 있으면 사전 선정기법에 해당하며, RTS/CTS 프레임 교환과정 이후에 도움노드를 찾는 절차를 시작하면 사후 선정기법에 해당된다. 협력통신에 대한 초기 연구의 대부분은 사전 선정기법을 사용하고 있는데, 이 기법은 복잡하여 망 부하 증가를 야기시키며, 시간에 따라 채널 특성이 변하는 무선채널에서 사전에 이미 설정해놓은 도움노드가 데이터 프레임을 전송하는 시점에서는 이미 최적 도움노드가 아닐 수 있다는 문제점을 갖는다. 그러므로 최근에는 RTS/CTS 프레임 교환 이후에 최적의 도움노드를 찾는 사후 선정기법에 대한 연구가 일부 진행되었다.

참고문헌[3]에서 제안한 rDCF 기법은 사전 선정기법을 채택하고 있으며, 이를 위해 모든 통신노드들은 주변에 지나다니는 모든 제어 프레임들을 수신하여 수신 전력을 측정하고 이 값을 기반으로 가능한 전송속도를 계산하여 릴레이 테이블(relay table)에 보관한다. 그래서 송신노드가 전송할 데이터가 발생하면 먼저 relay table을 검색하여 적절한 도움노드를 선정된 뒤, 도움노드를 거쳐 2-홉(two-hop) 통신을 수행한다. 참고문헌[4]에서 제안한 CoopMAC 기법도 사전 선정기법을 채택하고 있으며, 주변에 적절한 도움노드 정보를 관리하기 위해 CoopTable 리스트를 관리하는 등 여러 가지 면에서 rDCF와 유사성을 갖고 있다. 참고문헌[5]는 기존의 CoopMAC 기법을 확장하여 두 개 이상의 도움노드를

협력통신에 사용하는 DCMAC (dynamical cooperative MAC) 기법을 제안하였다. CoopMAC 기법과 유사하게 COOP-table을 관리하며 사전 선정기법으로 다수 개의 도움노드를 미리 선정한 뒤 송신노드로부터 받은 DATA 프레임을 협력통신에 참여하는 도움노드들이 순차적으로 목적지노드에게 전송한다. 그러나 이 기법은 계층 간 설계 개념을 사용하지 않고 확장하였기 때문에 DATA 프레임 전송에 대한 신뢰도는 증가하지만 시스템 처리량은 감소할 수 있다.

한편 사후(reactive) 선정기법을 사용하여 도움노드를 결정하는 협력통신 MAC 프로토콜도 일부 진행되었는데 참고문헌[6]-[8]이 여기에 해당한다. 참고문헌[6]에서 제안한 CTBTMA (cross-layer triple busy tone multiple access) 기법은 도움노드를 결정할 때 utility 함수와 세 가지 busy tone을 사용하였다. 송신노드와 수신노드가 데이터 전송을 위해 RTS/CTS 프레임을 서로 교환하면, 협력통신에 참여하여 시스템 성능 개선에 기여할 수 있는 후보 도움노드들은 자기 자신과 송신노드/목적지노드 사이에 전송 가능한 채널 전송속도를 결정하고 이 값을 사용하여 utility 함수를 계산한다. Utility 함수는 송신노드가 도움노드를 거쳐 목적지노드까지 현재 무선통신 채널을 통해 데이터를 전송할 수 있는 최대 실효전송속도를 의미하며, utility 값이 클수록 각 후보 도움노드들은 busy 신호를 오랫동안 전송한다. 따라서 임의의 후보 도움노드는 busy 신호 전송을 끝냈을 때 무선 채널을 통해 다른 busy 신호가 계속 전송되고 있으면, 채널 상태가 더 좋은 후보 도움노드가 있는 것으로 판단하고 도움노드 경쟁을 즉시 포기한다. 그러므로 도움노드 경쟁에서는 busy 신호를 가장 오랫동안 전송한 후보 도움노드가 도움노드 경쟁에서 최종적으로 승리하며, RTH (ready to help) 프레임을 전송하여 협력통신용 도움노드로 선정되었음을 알린다. 참고문헌[7]에서도 사후 선정기법을 사용하는 협력통신용 MAC 프로토콜을 제안하였는데, 도움노드 경쟁에서 각 후보 도움노드는 CCTR (composite cooperative transmission rate) 값을 계산하여 사용하였다. 이 기법에서는 도움노드를 선정하기 위해 3단계 경쟁을 수행하는데 먼저 CCTR 값에 따라 후보 도움노드를 몇 개 그룹으로 분류한 뒤, 첫 번째 단계에서는 그룹 간의 경쟁을 실시하고, 두 번째 단계에서는 선정된 그룹 내의 그룹 멤버들 간에 경쟁을 실시하였다. 2단계 경쟁에서도 도움노드를

선정하지 못하면 K개의 미니슬롯을 사용하여 확률적으로 도움노드를 선정하는 3단계 경쟁을 실시한다. 경쟁은 타이머를 사용하여 진행하며, CCTR 값이 클수록 보유하고 있는 타이머 설정 값을 작은 값으로 할당한다. 먼저 첫 번째 단계에서 구동된 타이머가 종료되면 해당 후보노드는 GI (group indication) 신호를 전송하며, 해당노드의 타이머가 종료되기 전에 다른 후보노드가 먼저 GI 신호를 전송한 것을 인지하면 해당노드는 도움노드 경쟁을 포기한다. 만약 두 개 이상의 후보노드가 GI 신호를 전송하였을 경우에는 GI 신호를 전송한 후보노드들만 두 번째 단계에서 유사한 절차로 경쟁을 시작하며, 타이머가 종료된 후보 노드는 MI 신호를 전송한다. 참고문헌[6]에서는 채널상태가 우수한, 즉 utility 값이 가장 큰 후보노드가 busy 신호를 가장 오랫동안 전송함으로써 경쟁 말미에 최종 도움노드가 결정되었지만, 참고문헌[7]에서 사용한 방법은 타이머를 사용함으로써 채널상태가 가장 우수한 후보노드가 경쟁 초기에 최종 도움노드로 결정되어 도움노드 경쟁 시간이 짧아진다는 특징이 있다.

참고문헌[8]에서도 사후 선정기법을 사용하는 협력통신용 MAC 프로토콜인 CRBAR (cooperative relay-based auto rate) 기법을 제안하였는데 이 방식에서는 협력통신에 참여하여 시스템 성능을 향상시킬 수 있는 후보 도움노드들이 p-persistent CSMA (carrier sense multiple access) 기법을 사용하여 도움노드 선정 경쟁을 수행한다. 이 방법이 참고문헌[6]와 참고문헌[7]에서 제안한 방법과 비교하여 간단하기는 하지만 최적 무선 채널 환경을 갖춘 후보 도움노드가 최종 도움노드로 선정된다는 점을 보장할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 한편 참고문헌[9]에서는 대표적인 도움노드 사후 선정기법인 세 가지 기법의[6-8] 성능을 컴퓨터 모의실험을 통해 비교하여 제시하였다. 성능평가 척도로는 시스템 처리량과 채널 액세스 지연시간을 사용하였으며, 성능평가 결과에 따르면 참고문헌[7]에서 제안한 세 단계 도움노드 선정기법의 성능이 가장 우수함을 알 수 있었다.

III. BT-COMAC 프로토콜

지금부터는 본 논문에서 제안한 새로운 협력통신용 MAC 프로토콜인 BT-COMAC (busy tone cooperative

MAC) 프로토콜의 동작을 설명한다. 이 기법에서 사용하는 도움노드 선정기법은 사후 선정기법으로, 참고문헌[7]에서 사용한 도움노드 선정기법의 장점을 사용하면서, 해당 기법이 갖고 있는 한계점을 개선하여 시스템 처리량을 증대시킬 수 있도록 하였다.

BT-COMAC 프로토콜에서 사용하는 도움노드를 결정하는 절차는 참고문헌[7]에서 사용한 방법과 유사하게 세 단계 경쟁으로 구성되어 있다. 여기에서 세 단계 경쟁이란 BI (busy indication) 슬롯 경쟁, CI (contention indication) 슬롯 경쟁, 그리고 K mini-slot을 통한 경쟁을 의미한다. BT-COMAC 프로토콜에서 도움노드 선정을 포함하여 송신노드와 목적지(destination) 노드가 프레임을 주고받는 전체 절차를 그림 2에 나타내었다. 먼저 송신노드가 전송할 패킷이 있을 경우에는 CRTS (cooperative request to send) 프레임을 목적지노드에게 전송하며, CRTS 프레임을 성공적으로 수신한 목적지노드는 CCTS (cooperative clear to send) 프레임으로 응답한다. 목적지노드는 송신노드가 전송한 CRTS 프레임을 수신하면서 측정된 수신 전력을 기반으로 송신노드와 목적지노드가 직접 통신할 경우 사용할 수 있는 전송속도 정보를 CCTS 프레임에 실어 보낸다.

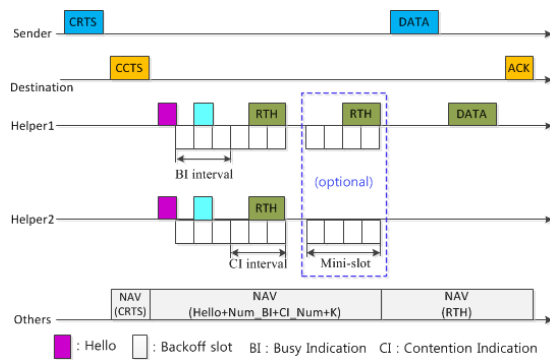


그림 2. BT-COMAC 기법 프레임 교환 절차
Fig. 2 Frame exchanges of BT-COMAC scheme

이 때 송신노드와 목적지노드 사이에 위치한 통신노드 중에서 협력통신에 참여할 준비가 되어 있는 후보 도움노드들은 송신노드와 목적지노드가 전송한 CRTS와 CCTS 프레임을 수신하면서 측정된 수신 전력 값을 토대로 해당 도움노드가 송신노드 또는 목적지노드와 각각 통신할 경우에 사용할 수 있는 전송속

도를 계산한다. 그리고 계산한 전송속도 값을 토대로 송신노드가 도움노드를 거쳐 목적지노드까지 2-hop 통신을 할 때 지원 가능한 실효 전송속도를 식 (1)을 사용하여 계산한다. 후보 도움노드가 직접 계산한 실효 전송속도와 송신노드와 목적지노드가 직접 통신할 때 지원할 수 있는 실효 전송속도를 비교하여 송신노드와 목적지노드가 직접 통신하는 경우보다 도움노드를 통해 전송하는 경우의 실효 전송속도 값이 크면 협력통신을 이용하는 것이 효율적이므로 협력통신에 참여하기 위해 hello 신호를 전송한다. 도움노드가 협력통신에 참여여부를 결정할 때 사용하는 실효 전송속도를 식 (1)과 같이 구한다.

$$R_e = \frac{W}{T_o + T_p} \quad (1)$$

$$T_p = \begin{cases} W/R_1, & \text{S-D} \\ W/R_{sh} + W/R_{hd}, & \text{S-H-D} \end{cases}$$

$$T_o = \begin{cases} T_{ACK} + T_{SFS}, & \text{S-D} \\ T_{RTT} + (N_{BF} + N_{CI}) \times T_{slot} + T_{ACK} + 3 \times T_{SFS}, & \text{S-H-D} \end{cases}$$

위 식에서 W 는 DATA 프레임의 비트단위 크기를 나타내며, T_o 와 T_p 는 각각 오버헤더와 DATA 프레임을 전송하는데 소요되는 시간을 의미한다. 그리고 T_{ACK} 은 ACK 프레임을 전송하는데 소요되는 시간을 의미하며, N_{BF} , N_{CI} 는 다음에 설명하는 BI 슬롯 및 CI 슬롯의 개수를 의미한다.

Hello 신호를 전송한 후보 도움노드들의 개수가 두 개 이상이면 BI 슬롯과 CI 슬롯의 두 단계를 거쳐 최적의 도움노드를 찾는 절차를 진행한다. 본 논문에서 제안한 도움노드를 찾는 방법은 참고문헌[7]에서 제안한 GI 슬롯과 MI 슬롯으로 나누어서 후보 도움노드를 선정하는 것과 유사하다. 하지만 참고문헌[7]에서는 어느 슬롯에 GI 또는 MI 신호를 전송할지 판단할 때 유효 전송속도인 CCTR (composite cooperative transmission rate) 값을 사용하지만, 본 논문에서는 수신 전력 값을 사용한다. 또한 BI 슬롯 동안 경쟁할 때는 참고문헌[7]에서와 같이 busy signal을 사용하여 경쟁하지만 CI 슬롯을 통해 경쟁할 때는 busy signal 대신에 RTH (ready-to-help) 프레임을 직접 사용하도록 수정하였다. 왜냐하면 IEEE 802.11b 무선 랜 표준과 같이 1, 2, 5.5, 11 Mbps 네 가지의 전송속도만 사용할 수 있는 환경에

서 CCTR 값은 채널 전송속도를 사용하여 계산하기 때문에 CCTR 값도 한정된 몇 개만 존재한다. 따라서 도움노드 경쟁에 참여하는 후보 도움노드 수가 증가하면 동일한 CCTR 값을 보유한 도움노드끼리 경쟁하여 충돌로 인해 도움노드 선정이 실패할 가능성이 커지기 때문이다. 그러나 수신 전력을 사용하면 후보 도움노드가 동일한 값을 가질 가능성이 매우 낮아서 도움노드 간의 충돌을 크게 줄일 수 있기 때문이다. 또한 참고문헌[7]에서 사용하는 GI 신호와 MI 신호는 다른 경쟁 도움노드 후보들이 도움노드 경쟁에 계속 참여하는 것을 중지시키는 목적이 크므로 BT-COMAC 기법에서는 두 번째 경쟁단계인 CI 슬롯 경쟁에서 busy 신호대신 RTH 프레임을 사용하여 해당 목적을 달성하면서 오버헤드를 줄였다.

후보 도움노드에서 측정된 수신 전력이 클수록 BI와 CI 슬롯 경쟁에서 앞 슬롯에 BI 신호 또는 RTH 프레임을 전송하도록 배정하며, 해당 BI 슬롯에서 BI 신호를 전송한 후보 도움노드가 두 개 이상이면 BI 슬롯경쟁을 즉시 중지하고 CI 슬롯 경쟁으로 이동하여 충돌 BI 신호를 전송한 후보 도움 노드만 CI 슬롯 경쟁동안 재 경쟁을 시작한다. CI 슬롯 재 경쟁에서는 RTH 프레임을 직접 사용하여 도움노드 선정 경쟁을 수행하며, 이 단계에서도 최종 도움노드 선정에 실패하면 (2개 이상의 후보 도움노드가 RTH 프레임을 전송한 경우), 후속되는 K mini-slot에서 마지막으로 경쟁을 시작한다. K mini-slot에서 경쟁하는 방식은 BI 슬롯 또는 CI 슬롯과는 다르며, CI 슬롯 경쟁에서 충돌 RTH 프레임을 전송했던 후보 도움노드들은 모두 1과 K 사이의 자연수 값을 확률적으로 생성한 후 해당 mini-slot에서 RTH 프레임을 재전송한다. 따라서 K mini-slot을 통해 경쟁할 때는 BI 슬롯과 CI 슬롯에서 사용했던 수신 전력 세기 정보를 사용하지 않고 순수하게 확률적 기반으로 경쟁을 실시하여 충돌확률을 낮춘다.

다음은 후보 도움 노드들이 사용하는 수신 전력 값과 BI 슬롯 또는 CI 슬롯 사이의 관계에 대해서 설명한다. 먼저 두 노드 사이의 거리에 따른 수신전력 값의 변동 폭이 매우 큰 점을 고려하여 로그변수를 사용하였다. 또한 목적지노드에서 수신한 프레임의 수신 전력 값이 통상적으로 1보다 매우 작은 점을 고려하여 각 노드들은 경쟁에 사용할 수신 전력 값을 식 (2)에 따라서 변환하며, 이 값을 본 논문에서는 utility 함수라고 부르겠다.

$$y_i = -\log_{10} P_r^i \tag{2}$$

여기에서 P_r^i 은 i 번째 후보 도움노드에서 측정된 수신 전력의 크기를 의미한다. 식 (2)에서 구한 utility 값을 사용하여 도움노드 경쟁과정에서 슬롯을 결정하는 과정을 BI 슬롯과 CI 슬롯 개수가 모두 3개인 경우에 대해 설명하면 다음과 같다.

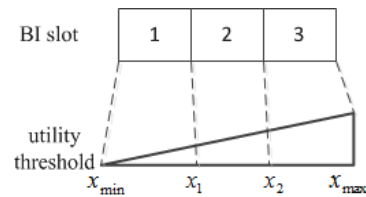


그림 3. BI 슬롯과 utility 함수와의 관계
Fig. 3 Relation of BI slot to utility values

먼저 그림 3은 BI 슬롯과 기준 utility 값 사이의 관계를 나타내는데 여기에서 x_{min} 값은 참조거리 d_0 (식 (4) 참조)에서의 수신전력 값을 식 (2)에 의해 변환한 utility 값이며, x_{max} 는 협력통신에 참여할 수 있는 후보 도움노드의 최저 조건인 각 수신전력 값을 식 (2)에 의해 변환한 utility 값이다. 식 (1)로부터 도출한 협력통신에 참여할 수 있는 후보 도움노드의 최저 조건을 표 1에 나타내었다. IEEE 802.11b 무선 랜 표준의 경우는 전송속도가 1, 2, 5.5, 11 Mbps 네 가지가 존재하며, 송신노드와 목적지노드사이의 채널상태가 각각 1, 2, 5.5 Mbps인 경우 협력통신에 참여할 수 있는 후보 도움노드의 최저 조건은 식 (1)을 사용하여 계산할 수 있다. 즉, 송신노드와 목적지노드 사이에 사용할 수 있는 채널 전송속도가 1 Mbps라고 하면 도움노드에서 측정된 두 전송속도 R_{sh}, R_{sd} 중에서 한 개는 2 Mbps 이상, 다른 한 개는 5.5 Mbps 이상을 지원하면 협력통신 기법을 사용하여 시스템 처리 성능을 향상시킬 수 있음을 의미한다. 여기에서 R_{sh} 는 송신노드와 후보 도움노드 사이의 전송 속도를 의미한다. 두 노드 사이의 거리와 전송속도와의 관계는 표 2를 사용하였으며[4], 두 노드 사이의 거리와 수신 전력과의 관계는 식 (4)를 사용하였다.

그림 3에서 BI 슬롯의 경계 값인 utility 함수 x_i 값은 다음 관계식을 사용하여 결정하며, 아래 식에서 BI_i 는 BI 슬롯 번호를 의미한다.

$$x_{\Delta} = (x_{\max} - x_{\min})/3 \quad (3)$$

$$x_i = x_{\min} + BI_i \times x_{\Delta}, \quad i = 1, 2$$

표 1. 1-hop 전송속도와 협력통신 참여 조건

Table. 1 Cooperation constraints for one-hop transmission rate

1-hop 통신의 전송속도 (R_1)	two-hop 전송속도 (R_{sh}, R_{hd})
1 Mbps	한 개는 2 Mbps, 다른 한 개는 5.5 Mbps 이상
2 Mbps	모두 5.5 Mbps 이상
5.5 Mbps	모두 11 Mbps

따라서 각 후보 도움노드에서 계산한 utility 값과 식 (3)에서 계산한 그림 3의 슬롯 경계 값과 비교하여 적절한 BI 슬롯을 찾은 뒤 해당 BI 슬롯에서 BI 신호를 전송한다. 예를 들면, 해당 후보 도움노드의 utility 값이 x_{\min} 값과 x_1 값 사이에 위치하면 1번 BI 슬롯에서 BI 신호를 전송한다. 그러므로 수신 전력 값이 클수록 작은 BI 슬롯 값에서 BI 신호를 전송할 수 있다.

표 2. 전송거리와 전송속도와의 관계

Table. 2 Relation of distance to transmission rate

속도	11Mbps	5.5Mbps	2Mbps	1Mbps
거리	48.2m	67.1m	74.7m	$\geq 100m$

일반적으로 무선 통신노드들은 반이중방식을 사용하여 통신하지만 busy 신호인 BI 신호는 해당 통신노드가 전송하면서 다른 통신노드가 BI 신호를 전송하고 있는지 감지할 수 있다고 가정한다. 왜냐하면 Busy 신호는 한 개 톤의 정현파 신호를 사용하기 때문에 송신과 동시에 채널을 감지하는 기능은 저렴한 비용으로 간단하게 구현할 수 있기 때문이다. 한편 특정 BI 슬롯에 BI 신호를 전송한 단말이 한 개인 경우에는 후속되는 CI 슬롯과 K mini-slot을 사용할 필요가 없이 곧바로 해당 후보 도움노드가 RTH 프레임 전송하여 후보 도움노드로 선정되었음을 송신노드와 목적지노드에게 알리면 후보 도움노드 선정과정은 종료된다. 그러나 해당 BI 슬롯을 통해 두 개 이상의 도움노드 후보가 BI 신호를 전송했다면 2단계 경쟁단계인 CI 슬롯 경쟁이 곧바로 시작된다. CI 슬롯 경쟁도 그림 3과 유사한 과정을 통해 진행되며 다만 차이점은 CI 슬롯 경쟁에서 사용하는

x_{\min} 값과 x_{\max} 값은 BI 신호 충돌이 발생했던 BI 슬롯의 utility 경계 값을 사용하는 것이다. 즉, 그림 3의 2번 BI 슬롯에서 BI 신호 충돌이 발생했다면, CI 슬롯 경쟁단계에서 사용하는 x_{\min} 값과 x_{\max} 값은 각각 x_1 와 x_2 이 된다. 또한 CI 슬롯 경쟁에 참여하는 후보 도움노드는 2번 BI 슬롯에서 충돌 BI 신호를 전송했던 후보 도움노드들 뿐만 아니라 모든 후보 도움노드들은 BI 슬롯 또는 CI 슬롯 구간동안 BI 신호 또는 RTH 프레임이 전송되는 지를 검사하여야 하며, 해당 후보 도움노드가 전송기회를 갖기 전에 다른 노드가 BI 신호를 전송하거나 RTH 프레임을 전송한 것을 인지하면 후보 도움노드 경쟁을 즉각 포기해야 한다.

한편 CI 슬롯 경쟁에서도 두 개 이상의 후보 도움노드가 경쟁에 참여하여 RTH 프레임의 충돌이 발생하면 K mini-slot 경쟁 단계에서 확률적으로 후보 도움노드를 선정하는 단계에 돌입한다. 한편 전송한 RTH 프레임의 전송성공 여부는 BI 신호의 충돌을 감지하는 경우와 달리 반 이중방식으로 동작하기 때문에 SIFS 시간 이후에 송신노드로부터 DATA 프레임을 수신하는지 여부에 의해 판단한다. K mini-slot을 통해서도 후보 도움노드 선정에 실패하면 협력통신 사용을 포기하고 송신노드가 목적지노드에게 직접 DATA 프레임을 전송하는 직접 통신을 사용한다. 도움노드 선정 경쟁에서 후보 도움노드는 송신노드와 목적지노드 랑 안전하게 통신할 수 있는 최적의 전송속도 값 R_{sh}, R_{hd} 을 RTH 프레임 헤더에 실어서 전송한다. 따라서 도움노드를 성공적으로 선정한 경우에는 송신노드와 목적지노드가 도움노드와 DATA 프레임을 주고받을 때 사용할 전송속도를 모두 알고 있다. 목적지 노드가 DATA 프레임을 도움노드로부터 성공적으로 수신하면 ACK 프레임을 송신노드에게 직접 전송하여 DATA 프레임 전송이 성공적으로 마무리되었음을 알린다.

IV. 성능평가 및 결과

먼저 성능평가 수행 중에 사용했던 무선 채널모델에 대해서 설명하고자 한다. 먼저 통신영역의 크기는 $100m \times 100m$ 정사각형을 가정하였고, 통신영역 내에 모든 통신노드들은 random way point 모델[10]에 따라 독립적으로 움직이는 환경을 고려하였다. 또한 각 통신노

드들은 IEEE 802.11b 무선 LAN 표준을 사용하여 통신하며, 통신노드 사이의 거리에 따른 전송속도는 표 2에 나타난 값을 사용하였다[4]. 그리고 전송거리와 경로손실과의 관계는 식 (4)로 표현되는 slow 페이딩 무선채널 환경을 고려하였으며[11], 이것이 참고문헌[9]에서 수행한 성능평가에서의 채널모델과 큰 차이점이다.

$$L_p(d)(dB) = L_s(d_0)(dB) + 10n\log_{10}(d/d_0) + X_\sigma(dB) \quad (4)$$

위 식에서 d_0 는 참조거리 (reference distance)로 성능평가에서는 캐리어 신호 파장의 2배 값을 사용하였다. d 는 송신노드와 수신노드 사이의 거리이며, X_σ 는 slow fading에 따른 신호의 감쇄크기를 나타낸 값으로 평균이 0이고 분산이 11.8 dB인 log-normal 분포를 따른다고 가정하였다.

컴퓨터 모의실험은 C++ 언어를 사용하고 참고문헌 [12]를 참조하여 구현하였으며, Slow fading 무선채널 환경을 모의실험하기 위해 표 2에 나타난 각 지점에서의 평균 수신 전력을 식 (4)를 사용하여 계산한 뒤(평균은 식 (4)에서 $X_\sigma = 0$ 인 경우에 해당), 이 값을 수신 전력 값으로부터 전송속도를 결정하는 기준 값으로 사용하였다. 즉 $P_r^{5.5}$ 을 5.5 Mbps로 송수신하기 위해 필요한 최저 수신 전력이라고 할 때 해당 노드에서 측정된 수신 전력이 P_r^2 보다 크고 $P_r^{5.5}$ 보다 작으면 2 Mbps로 전송할 수 있음을 의미한다.

통신노드 영역 내에는 송신노드, 도움노드, 목적지노드가 존재하며, 데이터 프레임은 송신노드에서 목적지노드에게 전송되며, 송신노드와 목적지 노드 쌍은 고정되어 있고 상호 겹치지 않는다. 해당조건을 만족하는 도움노드는 항상 협력통신에 참여한다고 가정하였으며, 최대 시스템 처리량을 계산하기 위해 송신노드는 전송할 데이터 프레임을 항상 보유하고 있는 포화 (saturated) 트래픽 모델을 가정하였다. 성능평가 척도로는 시스템 처리량(throughput)과 평균 채널 액세스 지연 시간 (channel access delay)을 사용하였다. 시스템 처리량은 컴퓨터 모의실험 시간 동안 성공적으로 전송한 데이터 프레임의 전체 양을 비트로 나타낸 값을 컴퓨터 모의실험 시간으로 나눈 값으로 정의하였고, 채널 액세스 지연 시간은 데이터 프레임을 전송하기 위해 채널 경쟁을 시작하는 시간으로부터 목적지노드로부터

성공적으로 ACK 프레임을 수신하기 까지 소요된 평균 지연시간으로 정의하였다. 참고문헌[9]에서 도움노드 사후 선정기법을 사용하는 세 가지 기존 연구[6]-[8] 중에서 참고문헌[7]에서 제안한 기법의 성능이 가장 우수하였으므로, 본 논문에서는 본 논문에서 새롭게 제안한 BT-COMAC 프로토콜과 참고문헌[7]에서 제안한 협력통신 MAC 프로토콜과의 성능비교만을 수행하였다. 성능평가를 위해 사용한 시스템 파라미터를 표 3에 나타내었다.

표 3. 시스템 변수 값
Table. 3 System parameters

시스템 변수	값	시스템 변수	값
RTS	160 bits	SIFS	10 ms
CTS	112 bits	DIFS	50 ms
RTH	112 bits	CWmin	32 slots
ACK	112 bits	CWmax	1024 slots
DATA	1024 bytes	Basic rate	1 Mbps
Slot time	20 ms	MAC header	28 bytes
BI (CI)	3 (3)	K	4
시뮬레이션 시간		1500 sec	
전송속도		1, 2, 5.5, 11 Mbps	
경로손실 (n)	3	전송전력	1 W
캐리어 주파수	2.4GHz	이동속도	Uniform(0, 30m/s)

그림 4에는 본 논문에서 제안한 BT-COMAC 기법 (그림 4에서 btmac이라고 표기)과 참고문헌[7]에서 제안한 cross-layer MAC 기법(그림 4에서 clmac이라고 표기)을 도움노드 개수가 각각 10개, 20개, 30개일 때 송신노드 개수의 변화에 따른 시스템 처리량의 변화를 나타내었다. 성능평가 결과에 따르면 본 논문에서 제안한 BT-COMAC 기법의 시스템 처리량이 참고문헌[7] 결과 대비 대략 15% 정도 시스템 성능이 개선되었는데 이것은 수신 전력을 사용하여 후보 도움노드간의 경쟁을 잘 처리하였고, CI 슬롯 경쟁에서 Busy 신호를 사용하지 않고 RTH 프레임을 사용하여 직접 경쟁함으로써 후보노드 경쟁과정에서 발생하는 오버헤드를 줄였기 때문인 것으로 판단된다.

그림 5에는 송신노드 개수가 각각 10개, 20개, 30개인 경우에 대해 도움노드 개수의 변화에 따른 시스템 처리량의 크기를 서로 비교하여 나타내었다. 수치계산

결과에 따르면 도우노드 개수가 대략 10개 이상 30개 이하 범위일 때 시스템 처리량이 상대적으로 큰 것을 알 수 있었다. 성능평가에 사용한 통신영역의 크기를 고려할 때 도우노드 개수가 30여개인 환경은 사용자의 밀집도가 상당히 높은 것에 해당된다.

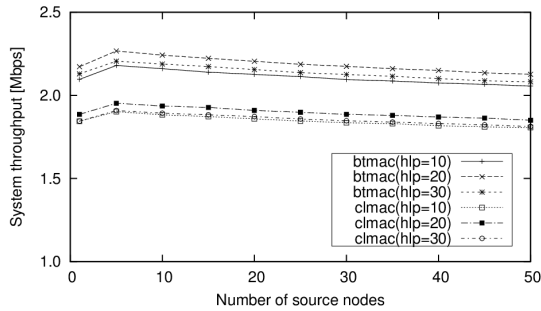


그림 4. 송신노드 개수 변화에 따른 시스템 처리량
Fig. 4 System throughput changes to source nodes' changes

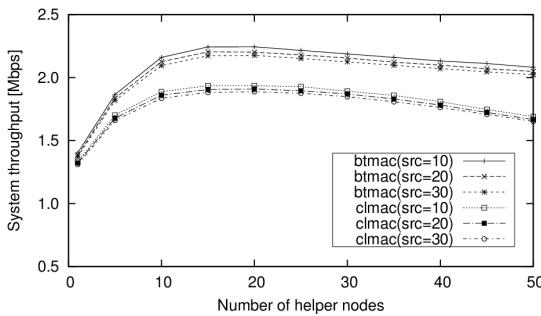


그림 5. 도우노드 개수 변화에 따른 시스템 처리량
Fig. 5 System throughput changes to helper nodes' changes

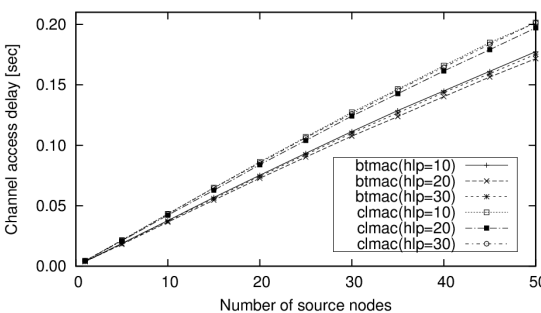


그림 6. 송신노드 개수 변화에 따른 채널 액세스 시간
Fig. 6 Channel access delay changes to source nodes' changes

그림 6과 그림 7은 채널 액세스 지연시간 성능결과를 나타내었다. 먼저 그림 6은 도우노드 개수가 각각 10개, 20개, 30개일 때 송신노드 개수의 변화에 따른 채널 액세스 지연시간의 변화를 나타내었다. 송신노드 개수가 증가하면 채널 경쟁에 의한 지연 때문에 채널 액세스 지연시간이 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 채널 액세스 지연시간은 순수하게 채널 액세스를 위해 소요되는 시간만을 계산하였기 때문에, 버퍼에서 대기하는 시간을 포함한 총 시스템 지연시간은 송신노드 개수가 증가하면 지수함수 적으로 증가할 것으로 예측된다.

그림 7은 송신노드의 개수가 각각 10개, 20개, 30개일 경우 도우노드 개수의 변화에 따른 채널 액세스 지연시간의 변화를 나타내었다. 성능평가 결과에 따르면 송신노드 개수가 감소할수록 채널 지연시간이 감소함을 알 수 있는데 이는 송신노드 개수가 증가하면 채널 액세스 단계에서 충돌확률이 증가하고 채널 상태가 빈번하게 busy 상태가 되기 때문에 채널을 통해 상대적으로 데이터를 전송할 기회가 줄어들기 때문이다. 도우노드 개수 변화에 따른 채널 액세스 지연시간의 변화는 그림 5에서 시스템 처리량 변화의 반대형태로 나타남을 알 수 있는데 이러한 변화는 직관적으로 예측한 것과 동일하다. 다만 그림 5에서는 송신노드 개수 변화에 따른 시스템 처리량 변화가 크지 않았는데 채널 액세스 지연시간은 편차는 크게 나타남을 알 수 있다.

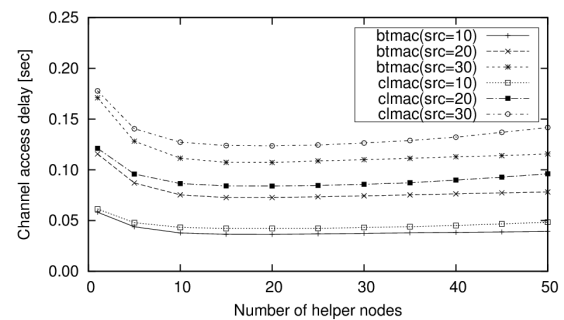


그림 7. 도우노드 개수 변화에 따른 채널 액세스 시간
Fig. 7 Channel access delay changes to helper nodes' changes

V. 결 론

본 논문에서는 협력통신 MAC 프로토콜에서 도움노드를 선정하는 방법을 포함한 새로운 협력통신용 MAC 프로토콜을 제안하고 성능평가를 수행하였다. 성능평가 척도로는 시스템 처리량과 채널 액세스 지연시간을 사용하였으며, 기존 연구에서 상대적으로 시스템 성능이 우수했던 참고문헌[6]의 결과와 비교하였다. 성능평가 결과에 따르면 본 논문에서 제안한 BT-COMAC 프로토콜의 성능이 기존 방식에 비해 최대 15% 정도 성능향상을 이룬 것으로 확인되었다.

차후 연구로는 본 논문에서 제안한 기법을 다중 도움노드를 지원할 수 있는 환경으로 확장할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 한국연구재단(과제번호: 2012-R1A1A2041831)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] A. Nosratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 10, pp. 74-89, October 2004.
- [2] IEEE Std 802.11-2012, *Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications*, IEEE, New York, NY, 2012.
- [3] H. Zhu and G. Cao, "rDCF: A relay-enabled medium access control protocol for wireless Ad Hoc Networks," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 5, no. 9, pp. 1201-1214, September 2006.
- [4] P. Liu, Z. Tao, S. Narayanan, T. Korakis, and S. S. Panwar, "CoopMAC: A cooperative MAC for wireless LANs," *IEEE J. of Selected Areas on Commun.*, vol. 25, no. 2, pp. 340-353, February 2007.
- [5] Y. Li, et al., "Dynamical cooperative MAC based on optimal selection of multiple helpers," in *Proceeding of IEEE GLOBECOM-2009*, Hawaii, pp. 1-6, December 2009.
- [6] H. Shan, et. al., "Cross-layer cooperative triple busy tone multiple access for wireless networks," in *Proceeding of IEEE GLOBECOM-2008*, New Orleans, pp. 1-5, December 2008.
- [7] H. Shan, "Cross-layer cooperative MAC protocol in distributed wireless networks," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol 10, no. 8, pp. 2603-2615, August 2011.
- [8] T. Guo, R. Carrasco, "CRBAR: Cooperative relay-based auto-rate MAC for multi-rate wireless networks", *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol. 8, no. 12, pp. 5938-47, December 2009.
- [9] Jaeshin Jang, "A sutdy on helper node selection mechanisms in cooperative communications," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 16, no. 7, pp. 1397-1405, July 2012..
- [10] David B. Johnson and David A. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks," in *Mobile Computing*, Kluwer Academic Publishers, ch 5, pp. 153~181, 1996.
- [11] T. S. Rappaport, *Wireless communications-principles and practice*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 2002,
- [12] M. H. MacDougall, *Simulating computer systems: Techniques and tools*, Cambridge, MA: The MIT Press, 1992.



장재신(Jaeshin Jang)

1990년 2월 동아대학교 전자공학과 학사
 1992년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
 1998년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사
 1997년 7월 ~ 2002년 2월 (주)삼성전자 네트워크사업부 책임연구원
 2008년 8월 ~ 2009년 7월 Iowa 주립대 방문연구원
 2002년 3월 ~ 현재 인제대학교 공과대학 정보통신공학과 부교수
 ※관심분야 : 차세대 이동통신망, 무선 LAN, 애드혹 네트워크, 협력통신